

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

1. Se escogió una relación L/D mayor a 30:1 para el tornillo extrusor puesto que un tornillo largo proporciona un calentamiento más uniforme en el material y un mejor rendimiento para la máquina extrusora.
2. Las principales variables que deben ser controladas durante el proceso de extrusión son la temperatura y la velocidad de giro del husillo. El sistema de calefacción permite alcanzar temperaturas que bordean los 1000 °C pero en el caso del PET es importante no sobrepasar la temperatura de 300 °C puesto que el material al alcanzar dicha temperatura empieza a descomponerse. El control de velocidad de giro del husillo permite variar la velocidad angular entre 15 y 50 rpm; al variar la velocidad angular es necesario considerar la relación inversa que guardan la velocidad de giro del husillo con el tiempo de residencia del material (ver CAPÍTULO 2, *Proceso de reciclaje mecánico del PET*, pág. 78).
3. El variador de frecuencia controla la velocidad a la que trabaja el motorreductor, por lo tanto, controla la velocidad de giro del tornillo extrusor. La mínima velocidad a la que el tornillo extrusor puede arrancar es de 15 rpm (10 Hz aproximadamente) y la velocidad máxima recomendable de trabajo es de 50 rpm (33 Hz aproximadamente). Es necesario evitar velocidades inferiores a 15 rpm en el tornillo para proteger a los componentes mecánicos de una sobrecarga por torque, mientras que velocidades superiores a 50 rpm llevarían al sistema de transmisión de potencia a trabajar en un estado límite (ver CAPÍTULO 2, *Proceso de reciclaje mecánico del PET*, pág. 78).
4. Existe un rango considerable en cuanto a las temperaturas con las que se debe trabajar y mantener el PET molido a lo largo de la extrusión, las

recomendaciones indican un rango de trabajo entre 120 a 295 °C, con una temperatura media de 252 °C, por lo cual es indispensable encontrar una temperatura adecuada con la cual se pueda obtener un material con buenas propiedades a simple vista; en base a las experiencias en laboratorio se toman como muestras óptimas, aquellas muestras en forma de filamento recogidas y estiradas manualmente que pasan a través de la boquilla y que toman un color transparente (ver CAPÍTULO 2, *Proceso de reciclaje mecánico del PET*, pág. 78).

5. La transparencia del producto final está relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero, por lo tanto, el nivel de transparencia del material reciclado es un buen indicador de sus propiedades mecánicas.
6. En la práctica las mejores condiciones de secado de PET se alcanzan entre 165 °C y 170 °C de temperatura y un tiempo de residencia entre 4 y 6 horas. El secado de las escamas de PET es necesario para evitar la degradación hidrolítica del material durante el proceso de extrusión. El proceso de secado fue realizado en el horno tipo mufla del laboratorio de Metalurgia (ver CAPÍTULO 2, *Proceso de reciclaje mecánico del PET*, pág. 78).
7. Con el PET extruido, obtenido de escamas lavadas y secadas se obtuvo una óptima resistencia a la tracción, las pruebas arrojaron valores en un rango de 351,873 a 639,265 [Kg/cm²]; en cuanto al alargamiento porcentual, asimismo se obtuvieron buenos resultados, es así que los valores de alargamiento porcentual, están en un rango de 21,911% a 217,436%. Para realizar la extrusión de este tipo de material fue necesario fijar las temperaturas de extrusión en 280 °C y 280 °C (temperaturas de entrada y salida, respectivamente), y mantener la velocidad de rotación del tornillo en 33 rpm. El alto margen de dispersión de los resultados obtenidos se debe a la poca homogeneidad en el material reciclado, el cual estuvo sometido a condiciones de enfriamiento brusco. El material extruido al ser sometido a condiciones de enfriamiento brusco no se cristaliza adecuadamente lo cual genera propiedades termo – mecánicas no óptimas.

8. El RPET obtenido superó las características mecánicas mínimas requeridas del material reciclado: resistencia a la tracción 22 – 41.4 Kg/cm², alargamiento porcentual 0.2 – 0.3 %.
9. Mediante la observación de los resultados de resistencia a la tracción y alargamiento porcentual en las pruebas del material final obtenido de escamas lavadas y secadas en horno, se puede concluir que el material final se comporta como un plástico dúctil.
10. El costo total del proyecto fue de USD 7,000.00, financiado por la ESPE mediante partida presupuestaria No. **1812.100.730605.000.5.04.46 ESTUDIO Y DISEÑO DE PROYECTOS** (Ver CAPÍTULO 8, *Resumen económico – financiero*).
11. Para el diseño de los componentes mecánicos de la máquina extrusora monohusillo se utilizó el programa CosmosWorks, simulando las condiciones críticas de operación y obteniendo una verificación de diseño con factores de seguridad superiores a 2.
12. En nuestro medio, el reciclaje del PET mediante la tecnología de la extrusión podría general varias actividades comerciales importantes, tales como: producción y exportación de RPET pelletizado, producción de fibra textil de poliéster, producción de plumón (relleno para almohadas), entre otras.

9.2 RECOMENDACIONES

1. Con el fin de obtener un material final con óptimas propiedades es necesario evitar el contacto del PET seco caliente (salido del horno mantenido durante cuatro horas a 150 °C) con el ambiente, puesto que el PET en estas condiciones puede ganar humedad a una velocidad de 5 a 10 ppm por segundo, lo cual se ve reflejado en una menor calidad del material final.

2. Cada mes se debe realizar una limpieza general de la máquina, encendiéndola previamente a una temperatura recomendada de 260 °C en el caso del PET, para que el material sobrante dentro de la camisa se diluya y con la ayuda del tornillo extrusor en funcionamiento salga. Además se debe revisar el cabezal o la boquilla, dependiendo con cual de los dos elementos se trabaje, y se deben limpiar los orificios por donde debe pasar el material extruido, con el fin de evitar un taponamiento y una sobrepresión dentro de la camisa.
3. Antes de iniciar el proceso de extrusión, es necesario mantener encendido el sistema calefactor durante una hora para que las temperaturas del cilindro se estabilicen. Debe procurarse empezar el proceso con temperaturas altas (entre 260 y 280 °C), y luego de ser necesario se pueden variar hasta encontrar una combinación adecuada entre el perfil de temperaturas fijado y la velocidad de rotación del husillo (Ver ANEXO E para determinar la tasa de producción de la máquina en función de la velocidad de rotación del tornillo).
4. Procurar una buena ventilación en el lugar donde se realice el proceso de extrusión puesto que por el calentamiento del material generalmente se producen gases que pueden ser nocivos para la salud.
5. Operar la máquina extrusora entre dos personas para evitar cualquier tipo de accidentes y asegurar el correcto control de las variables del proceso.
6. Utilizar el equipo de seguridad industrial adecuado para operar la máquina extrusora (principalmente gafas, guantes y ropa de trabajo) debido a que durante el proceso se alcanzan temperaturas elevadas.
7. Desarrollar proyectos complementarios, tanto previos a la extrusión como post – extrusión. La máquina extrusora puede ser complementada con los siguientes equipos: molinos con tamiz intercambiable, lavadoras de plástico molido, horno de secado, haladoras, pelletizadoras, etc.